

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/DE05/000194

International filing date: 02 February 2005 (02.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 006 148.3

Filing date: 04 February 2004 (04.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 19 April 2005 (19.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 006 148.3

Anmeldetag: 04. Februar 2004

Anmelder/Inhaber:
Dr. Max Mayer, 91301 Forchheim/DE;
Dr. Bernhard Bausenwein,
93095 Hagelstadt/DE.

Bezeichnung: Vorrichtung und Verfahren zur reziproken Polarisierung mit komplementär wirkenden kartesischen Polarisationschichten (Kreuzpolarisator)

IPC: G 02 B 5/30

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. April 2005
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Bunzlus", is placed over the typed name of the President.

Stanschus

Vorrichtung und Verfahren zur reziproken Polarisation mit komplementär wirkenden kartesischen Polarisationsschichten (Kreuzpolarisator)

Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf optische Systeme im sichtbaren und benachbarten elektromagnetischen Spektrum, die einen Polarisator beinhalten. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf komplexe, d.h. aus mehreren Polarisationsschichten zusammengesetzte Polarisatoren. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf kartesisch wirkende Polarisationsschichten, bei denen eine Achse der Polarisationsschicht die Polarisationsrichtung bestimmt.

Diskussion des Stands der Technik

Die Erzeugung von polarisiertem aus unpolarisiertem Licht ist mit einer Vielzahl von Methoden möglich. Eine gute Übersicht über die verschiedenen Wirkungsweisen von Polarisatoren und ihrer Benutzung wird z.B. in US 6452724 gegeben. Hier soll nur auf zwei polarisierende Strahlenteiler (gebräuchlich ist die englische Bezeichnung polarizing beam splitter, PBS) verwiesen werden, die den größten Teil eines einfallenden Strahls in zwei linear polarisierte Teilstrahlen zerlegen.

Breite Verwendung zeichnet Dünnfilmpolarisatoren wie den nach MacNeille (US 2403731 von 1943) aus. Diese nutzen den Brewster-Effekt zur Polarisations-Strahlentrennung und -Kombination. Bei einem Einstrahlwinkel (Winkel zwischen Einfallstrahl und der Normalen der Polarisationsschicht), der dem Brewster'schen Winkel entspricht, entstehen aus einem unpolarisierten Lichtstrahl zwei unterschiedlich linear polarisierte Teilstrahlen - ein reflektierter und ein transmittierter Strahl, die senkrecht aufeinander stehen. Der reflektierte Teilstrahl ist immer senkrecht zur Einfallsfläche (plane of incidence, POI) polarisiert (S-Polarisation), der transmittierte immer parallel zur Einfallsfläche polarisiert (P-Polarisation, siehe Abb. 1a). Beim PBS nach MacNeille wird, bei einem Einfallswinkel von 45 Grad, der transmittierte Strahl gerade durch den PBS geführt; der reflektierte Strahl erfährt eine Ablenkung um 90 Grad. Nur dieser Strahlengang ist also einmal gefaltet. Die Winkellage der Teilstrahlen ist bei

diesem PBS starr (90 Grad aufeinander) und die Polarisationsrichtung der Teilstrahlen durch die Einfallsebene definiert. Für eine effektive Strahlensuperposition muss ein S- und P-Teilstrahlenpaar in genau umgekehrter Weise auf die Polarisationsschicht treffen. Die Effektivität der Polarisation ist zudem empfindlich abhängig von besagtem Brewster'schen Einstrahlwinkel: Eine Abweichung von nur wenigen Grad führt bereits zu unvollständiger Polarisation. Dies ist für reale Strahlenführung mit nicht parallelen Strahlen nicht optimal, da die stringente Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel natürlich stark limitierende Auswirkungen auf den Öffnungswinkel (engl: „acceptance angle“) des PBS hat. Ausserdem findet sich im MacNeille PBS eine gewisse Farbabhängigkeit, da der Brewster'sche Winkel von der Wellenlänge abhängt.

Eine andere Form von Polarisatoren wurde in den letzten Jahren auch für das sichtbare und dem sichtbaren benachbarte Spektrum möglich. Hierbei wird die Polarisation über ein Mikro-Drahtgitter, dessen Gitterabstand im Sub-Wellenlängenbereich liegt, bewirkt (US 6122103, US 6452724 Moxtek Inc, US 6391528 3M Inc, EP 1158319 Jasco Inc, EP 1239308 Eastman Kodak Inc). Wie ein weiterer erst kürzlich aufgedeckter Polarisator (US 20030184864 3M Inc) führt auch der Drahtgitter-Polarisator (engl: wire grid polarizer, WGP) eine sogenannte kartesische Polarisation durch (Abbildung 1b-d). Die Beschreibung als „kartesische“ Polarisatoren bezieht sich darauf, dass nicht der Einfallswinkel, sondern die Ausrichtung einer Materialachse (3M „cartesian PBS“) oder des Drahtgitters (WGP) bestimmt, welche Polarisationsrichtung reflektiert wird und welche Polarisationsrichtung transmittiert wird.

Ein unpolarisierter Einfallsstrahl wird an einem WGP derart in seine beiden senkrecht zueinander linear polarisierten Teilstrahlen zerlegt, dass der Schwingungsvektor eines Lichtstrahls, der an dem Gitter reflektiert wird, parallel zur Ausrichtung A der Drahtgitter-Elemente schwingt und der Schwingungsvektor des transmittierten Strahls senkrecht dazu (Abb. 1c).

Mit einer bestimmten Ausrichtung (Abb. 1b), bei der die Achse A senkrecht zur Einstrahlebene POI steht, kann mit dem WGP eine Strahlteilung und Bündelung wie mit dem MacNeille PBS erreicht werden, wobei P-polarisiertes Licht als Transmissions-Strahl und S-polarisiertes Licht als Reflexionsstrahl erzeugt werden. Durch Drehen der Achse A um 90 Grad (nun steht A parallel POI) bei sonst

gleich bleibender Anordnung (Abb. 1d) kann andersherum S-polarisiertes Licht im Transmissionsstrahl und P-polarisiertes im Reflexionsstrahl erzeugt werden, eine zum MacNeille PBS komplementäre Situation. Die daraus resultierenden Konsequenzen sind weitreichend. Ein kartesischer PBS wie der WGP stellt die absolute Lage der Polarisation eines Strahls frei - sie ist nur abhängig von der Lage der Strukturachse. Ein weiterer Vorteil ist die vergleichsweise wesentlich größere Unabhängigkeit der polarisierenden Wirkung vom Einfallsinkel. Da der Einfallsinkel dem Ausfallwinkel entspricht, existiert beim WGP auch kein fester Winkel zwischen Eingangs- und reflektiertem Ausgangsstrahl.

Wie der MacNeille Dünnfilm PBS und der „Cartesian PBS“ von 3M Inc. weist auch der WGP in Bezug auf die Polarisation zwei Asymmetrien auf, die allen einfachen, also nicht zusammengesetzten Polarisatoren zu eigen scheinen:

- 1) Sowohl bei der Strahlentrennung wie auch bei der Strahlkombination behält ein polarisierter Teilstrahl seine Richtung bei, während der komplementär polarisierte Teilstrahl seine Richtung ändert, also der Strahlengang einmal gefaltet wird.
- 2) Auch bezüglich der Polarisationsgüte (englisch auch als „extinction ratio“ oder „contrast“ bezeichnet) existieren Unterschiede zwischen beiden Teilstrahlen bei der Strahlentrennung. So ist der transmittierte Strahl in der Regel nur relativ gering mit der komplementären Polarisation verunreinigt. Der bei der Trennung entstehende reflektierte Strahl dagegen weist Licht der komplementären Polarisation in der Größenordnung von 5% auf. Diese für einige Anwendungen zu große „Verunreinigung“ eines Lichtstrahls macht zusätzliche Reinigungspolarisatoren (engl. cleanup polarizers) notwendig. Insbesondere in bidirektional arbeitenden Polarisatoren (in denen ein Polarisator sowohl zur Strahlentrennung als auch zur Strahlenkombination Verwendung findet) sind allen einfachen Polarisatoren enge Grenzen in Bezug auf Strahlenführung und Polarisationsgüte gesetzt.

Wird höhere Polarisationsgüte verlangt als mit einem einfachen Polarisator erreichbar, werden in einigen Beschreibungen zusammengesetzte Polarisationsanordnungen vorgestellt (US 5921650 IBM Inc, US 6280034 Philips Inc, EP 1337117 Thomson S.A.). Diese Patente beschreiben Lichtführungsanordnungen für LCoS Projektoren. In diesen Anordnungen werden mehrere

gleichgerichtete Polarisationsschichten hintereinander gekoppelt, was für beide Teilstrahlen die Polarisationsgüte dramatisch erhöht.

Trotz dieser Verbesserungen weisen die erwähnten Systeme die für Einzel-PBS genannten Asymmetrien auf: So ist der Strahlengang bezüglich der Einstrahlung nicht symmetrisch (vgl. Abb.9a) - die Polarisationsgüte und vor allem die relative Lichtausbeute der beiden Teilstrahlen ist unterschiedlich.

In Systemen, in denen beide Teilstrahlen gleichberechtigt verwendet oder gleichen Aufgaben zugeführt werden, ist hingegen die gleiche Lichtstärke und der gleiche Polarisationsgrad sehr erwünscht. Eine symmetrische Lichtführung bietet zusätzliche Freiheitsgrade für die Konstruktion von optischen Systemen mit effizienten Anordnungen.

Überblick über die Erfindung

Die Aufgabe bestand darin, einen komplexen (zusammengesetzten) Polarisator zu erzeugen, der beide polarisierten Teilstrahlen gleich behandelt - dies bezüglich des Strahlengangs, der Polarisationsgüte und der Lichtausbeute. Außerdem sollte der Polarisator natürlich eine hohe Polarisationsgüte (extinction ratio) der Teilstrahlen bei guter Lichtausbeute leisten.

Wie in der Diskussion des Stands der Technik beschrieben, weisen einfache Polarisatoren, auch einfache kartesische, eine Asymmetrie im Strahlengang auf, der darin besteht, dass nur der reflektierte Teilstrahl gefaltet wird. Damit auch der transmittierte polarisierte Teilstrahl einmal gefaltet wird, haben wir diesen nach einer Polarisierung an einer kartesischen Polarisierungsschicht W1 auf einen zweiten kartesischen Polarisator (W2) geführt. Dessen Strukturachse ist so gewählt, dass der transmittierte Strahl nun in Gegenrichtung zur Richtung des bei der ersten Polarisierung reflektierten Teilstrahls reflektiert wird (Abb.2). W1 und W2 sind also funktionell zueinander komplementär (das heißt, deren polarisationsbestimmende Strukturachsen A1 und A2 sind in diesem Fall um 90 Grad gegeneinander gedreht, also rechtwinklig gekreuzt).

Eine zweite Reflexion ist auch aus einem ganz anderen Grund nötig: Während bei Dünnschichtpolarisatoren nach dem MacNeille Typ die beiden Teilstrahlen

aufgrund der erzwungenen Einstrahlungs- und Polarisations-Richtung immer senkrecht zueinander stehende Polarisationsrichtungen aufweisen, sind die polarisierten Teilstrahlen kartesischer Polarisatoren aufgrund der frei zur Einstrahlungsebene wählbaren Ausrichtung der Schichtachse A meist nicht senkrecht zueinander polarisiert, wie wir im folgenden zeigen.

Bei kartesischen Polarisatoren transmittiert ein Teilstrahl den Polarisator. Der Schwingungsvektor dieses Teilstrahls schwingt senkrecht zur Schichtachse A, wobei sich die Polarisationsrichtung bei der Transmission nicht ändert. Bei der Reflexion des anderen Teilstrahls wird die ursprünglich zum transmittierten Strahl senkrecht stehende Polarisationsrichtung mit der Änderung der Strahlrichtung gespiegelt (siehe Abb.2). Sie ist dann, außer in bestimmten Achsenlagen, nicht mehr senkrecht zu der Polarisationsrichtung des transmittierten Strahls. Die Reflexion an W2 in unserer Erfindung spiegelt auch für den zuerst transmissiven Strahl die Polarisationsrichtung. Damit stehen die Polarisationsrichtungen der beiden polarisierten Ausgangsstrahlen wieder senkrecht zueinander (xyz-Bezugssystem für die Polarisationsrichtung in der Anordnung besteht aus der Ausbreitungsrichtung z des Strahls, und der beiden senkrecht und parallel zur Einstrahlebene POI stehenden Vektoren x und y).

Ein weiteres wesentliches Kriterium unserer Erfindung ist, dass der zunächst an W1 transmittierte Teilstrahl an einem funktionell komplementären kartesischen Polarisator ein zweites Mal „polarisiert“ wird. Dieser zweite Polarisator bewirkt, aufgrund seiner komplementären Wirkungsweise, auch eine erhebliche Verbesserung des Polarisationsgrades, da enthaltene Polarisationsverunreinigungen aus dem Strahl ausgelenkt werden.

Da aber vor allem der an W1 reflektierte Teilstrahl einen relativ hohen Anteil an der komplementären Polarisationsrichtung enthält, also einen eher geringen Polarisationsgrad aufweist (wie später quantitativ belegt wird), wird in dieser ersten Verkörperung unserer Erfindung (Abb.2) auch dieser reflektierte Teilstrahl auf eine kartesische Polarisationschicht (W3) gerichtet. Auch für W3 wird (wie für W2) die Achsenausrichtung so gewählt, dass der Teilstrahl komplementär polarisiert wird, in diesem Fall also W3 transmittiert. Da der reflektierte Teilstrahl, wie beschrieben, eine gespiegelte (rechts-links an der Vertikalen y des xyz-Polarisations-Bezugssystems gespiegelt) Polarisationsrichtung aufweist, folgt daraus, dass für

eine komplementäre Wirkung W3 eine andere Strukturachsenausrichtung als W2 hat. Wie die Polarisationsrichtung muss auch die Lage der polarisationsbestimmenden Strukturachse gespiegelt werden.

Wir bezeichnen die zweifache, durch komplementäre Wirkung beschriebene Polarisation für beide Teilstrahlen (je eine Transmission und eine Reflexion) in dieser Verkörperung der Erfindung als reziproke Kopplung komplementärer Polarisationen.

Unsere Erfindung weist keine der Asymmetrien einfacher Polarisatoren auf - die resultierenden Teilstrahlen sind von identisch hoher Polarisationsgüte, gleicher relative Lichtstärke, sowie beide gleichhäufig (einmal) gefaltet.

Während nach dem Stand der Technik kartesische Polarisatoren nur mit Achsenstellungen senkrecht oder vertikal zur Einstrahlungsebene POI Verwendung finden, wird in unserer Erfindung sichtbar und genutzt, dass die beiden an einer kartesischen Polarisationschicht polarisierten Teilstrahlen nicht immer senkrecht zueinander polarisiert sind. Für eine von 0° , 90° verschiedene, beliebige Achsenausrichtung (der Sonderfall $0^\circ, 90^\circ$ wird später beschrieben) ist dies erst nach reziproker Kopplung mit einer Reflexion in jedem Strahl gegeben.

Die erste Verkörperung der Erfindung eignet sich natürlich bei umgekehrter Strahlungsführung zur Polarisationskombination zweier komplementärer Polarisationsrichtungen. Es ist darauf zu achten, dass die Schichtachsen der Anordnung auf die Polarisation der zu kombinierenden Teilstrahlen abgestimmt sein müssen.

In einer zweiten Verkörperung der Erfindung (Abb.3) wird die Anordnung durch die Anbringung einer weiteren Polarisationschicht W4 erweitert. Dabei entsteht im einfachsten Fall ein Kreuz mit 4 Armen, die 4 Quadranten begrenzen. Bevorzugt wird eine symmetrische Anordnung mit 4 gleichen Armlängen. Die Einstrahlung kann nun z.B. auf W1 oder W3 im unten gezeigten Quadranten erfolgen. Bei Einstrahlung auf W1 verlassen die polarisierten Teilstrahlen die Anordnung über W2 und W3, beim Einstrahlen auf W3 verlassen die

polarisierten Teilstrahlen die Anordnung über W4 und W1. Abb.3 zeigt beide Einstrahlungen simultan. Die in diesen beiden Fällen erzeugten polarisierten Teilstrahlen eines Quadranten, also die beiden Teilstrahlen von W1 und W2 bzw. die beiden Teilstrahlen von W3 und W4 tragen eine spiegelbildliche Polarisation. In jeden der Quadranten kann eingestrahlt werden; bei einer Drehung des Kreuzpolarisators um 90 Grad vertauschen sich die Polarisationen des rechten und linken Teilstrahls. Auch mit dieser Anordnung ist prinzipiell jede beliebige Polarisationsrichtung durch die vorherige Bestimmung der Lage der Strukturachsen der kartesischen Polarisationsschichten erzielbar. Auch mit dieser zweiten Anordnung ist natürlich umgekehrt die Polarisationskombination möglich. Wie bereits beschrieben erfährt bei der ersten Polarisierung der reflektierte Teilstrahl eine Spiegelung der Polarisationsrichtung (Abb.2), so dass die beiden entstandenen Teilstrahlen in der Regel (außer im unten genannten Sonderfall) nicht mehr senkrecht zueinander polarisiert sind. Die in Abb.2 erklärte Verwendung einer zu W2 spiegelsymmetrischen Schicht W3 gilt nun auch für W4 und W1.

Die notwendige spiegelsymmetrische Anordnung der Strukturachsen der Schichten W2 und W3 bzw. W1 und W4 erfordert jedoch nicht den Einsatz von vier verschiedenen kartesischen Polarisatoren. Abbildung 4 zeigt, dass die spiegelbildliche Achsenausrichtung durch Drehung um die Vertikalachse erreicht wird (auch die Drehung um eine horizontale Kante einer Schicht überführt diese in das Spiegelbild (nicht gezeigt)). Dies reduziert den Aufwand zur Herstellung von Kreuzpolarisatoren, da i.d.R. (falls der gespiegelte Einsatz möglich und erwünscht ist, dies ist u.a. abhängig z.B. von der Form und Bauweise der Polarisatoren) höchstens zwei Schichten mit verschiedener Achse hergestellt werden müssen (Abb.4c).

Abbildung 5 zeigt zwei Sonderformen von Winkel- und Polarisationslagen. In Abbildung 5a ist die Erfindung mit der Winkellage (Polarisationsrichtungen) ± 45 Grad zu sehen. Da die zu $+45^\circ$ komplementäre Winkellage -45° Grad beträgt, und -45° das Spiegelbild von $+45^\circ$ ist, wird bei dieser Ausrichtung trotz der spiegelbildlichen Anordnung von gegenüberliegenden Schichten und der komplementären Anordnung hintereinanderliegender Schichten nur eine physikalische Art kartesischer Schicht erforderlich.

Ein anderer Sonderfall ist das Ausrichtungs- und Polarisationspaar $0^\circ / 90^\circ$

(Abb.5b). Sowohl die Ausrichtung in der Horizontalen (90°) als auch in der Vertikalen (0°) sind für rechtes und linkes Spiegelbild ununterscheidbar (gleich). Damit sind die beiden (prinzipiell spiegelbildlichen) gegenüberliegenden Polarisationsschichten (W3 und W2, sowie W1 und W4 in Abbildung 4) gleich. Außerdem ist dies die einzige Situation, bei der die an einer ersten Polarisationsschicht durch Reflexion und Transmission entstandenen Teilstrahlen senkrecht zueinander polarisiert sind. Beide Polarisationsrichtungen werden nämlich in diesem Fall durch eine Reflexion nicht sichtbar geändert.

Dieser Sonderfall ($0^\circ; 90^\circ$) ermöglicht eine dritte Verkörperung unserer Erfindung, in einer kompakten Anordnung. Die Strahlungsführung ist in Abbildung 6 zu sehen. In dieser Verkörperung kann über die gesamte Breite der Anordnung eingestrahlt werden, wodurch der Kreuzpolarisator gegenüber der offenen Bauform mindestens auf 50% Breite bzw. auf 25% Fläche reduziert werden kann. Auch bei dieser Anordnung werden beide der entstehenden unterschiedlich polarisierten Strahlenbündel einmal reflektiert und einmal transmittiert. Beide Strahlen werden so einmal gefaltet. Bei der in Abbildung 6a gezeigten Anordnung von zwei Polarisatoren, die sich im Winkel von 90 Grad kreuzen, werden beide Strahlen um 90 Grad nach außen gefaltet. Die polarisierten Teilstrahlen verlassen den Kreuzpolarisator nun sogar in der gleichen optischen Achse, aber in entgegengesetzten Richtungen. So lässt sich mit dieser Verkörperung des Kreuzpolarisators, im Unterschied zu den vorher aufgedeckten Verkörperungen sogar eine zur Einstrahlung symmetrische Anordnung erreichen. Diese symmetrische Anordnung erlaubt den Einsatz von Polarisatoren besonders bei Anwendungen, in denen beide polarisierten Teilstrahlen einer ähnlichen oder gleichen Aufgabe zugeführt werden, und Laufwege- und Spiegelungsunterschiede vermieden werden müssen oder sollen.

Die vorgestellte dritte Verkörperung der Erfindung hat zwei optische Achsen, die in den winkelhalbierenden Schnittebenen der komplementären Polarisationsschichten liegen. In jede dieser Achsen kann unpolarisiertes Licht zur Strahlenteilung eingestrahlt werden. Durch eine einfache Drehung des Kreuzpolarisators um 90 Grad um die Schnittachse der Polarisationsschichten (dies entspricht der Einstrahlung in einen der benachbarten Quadranten) werden die hier analog zum MacNeille PBS „S“ und „P“ genannten Teilstrahlen vertauscht,

d.h. „S“ oder „P“ können mit dem gleichen Bauteil nach rechts oder links gerichtet sein und umgekehrt.

Die Anordnung muss jedoch nicht, wie in Abbildung 6a gezeigt, rechtwinklig gekreuzte Polarisatorschichten W1 und W2 enthalten; andere Schnittwinkel der beiden Polarisatoren sind möglich und nur fertigungstechnisch bei zu spitzen Winkeln limitiert; sie ergeben ebenfalls symmetrische Strahlengänge, bei denen die Ausgangsstrahlen dann allerdings den Kreuzpolarisator nicht in der gleichen optischen Achse verlassen. Bevorzugt wird aber eine rechtwinklige Anordnung, die einen sehr kompakten Kreuzpolarisator ermöglicht.

Der Kreuzpolarisator ist, wie die einfachen Polarisatoren auch, natürlich ebenfalls zur Kombination von Strahlen geeignet, wie dies im Fall des umgekehrten Strahlungsverlaufs in Abbildung 6b ersichtlich wird. Der gleichzeitige Einsatz des Kreuzpolarisators für Strahlenteilung und Strahlenkombination z.B. bei Anwendung mit reflektiven Displays wird in einer begleitenden Patentanmeldung aufgedeckt.

Der Polarisationsgrad (Güte) ist natürlich abhängig von der Güte der Polarisierung in den verwendeten Polarisationschichten. Da sich die Verwendung des Drahtgitterpolarisators WGP anbietet, und eine gute Dokumentation der Transmission und Reflexion beider Teilstrahlen vorliegt (z.B. Kahn: Doing it with stripes, Private Line Report on Projection Display, V7, No.10, 2001, <http://www.profluxpolarizer.com>), wurden diese Daten herangezogen, um den Strahlenverlauf im Kreuzpolarisator zu quantifizieren und die Polarisierung in beiden Kanälen zu berechnen (Abb.7).

Jeder reale Polarisator weist einen Grad an unvollständiger Polarisierung auf, d.h., es tritt neben einer überwiegenden Transmission eines polarisierten Teilstrahls auch eine (wesentlich geringere) Transmission des komplementär polarisierten Teilstrahls auf; gleiches gilt für die Reflexion. Außerdem wird ein Bruchteil des Lichts absorbiert. Die Zahlenwerte werden in Abbildung 7a angegeben.

Die Komplementarität der Schichten W1 und W2, deren Strukturachsen A1 und A2 um 90 Grad gegeneinander gedreht sind, spiegelt sich in den in Abbildung 7a

angegebenen Faktoren. So entspricht beispielsweise die Transmission (t) von „P“ an W1 der Transmission von „S“ an W2. Gleches gilt umgekehrt für die Transmission von „S“ an W1 und „P“ an W2. Analog gilt Komplementarität auch für die Reflexionen (r) und die Absorptionen (a).

Im Kreuzpolarisator wird für beide Teilstrahlen eine Reflexion an einem Polarisator mit einer Transmission am anderen Polarisator gekoppelt (Abb.7b).

So wird z.B. der „P“-Lichtstrahl, der an W1 zum weitaus größten Teil transmittiert wird, an W2 zum weitaus größten Teil reflektiert.

Der „S“-Lichtstrahl wird, mit den gleichen numerischen Werten erst an W1 reflektiert, und dann an W2 transmittiert. Nach der reziproken Polarisierung durch zwei komplementäre Polarisationschichten erreichen mehr als 77,8% des „P“-Lichts den „P“-Strahl und ein exakt ebenso großer Anteil des „S“-Lichts den „S“-Strahl (Abb. 7c).

Wie bereits ausgeführt, bezeichnen wir diese neuartige wechselseitige Kopplung als reziprokes Polarisationsprinzip, das die Qualität der Polarisierung deutlich, vor allem aber gleichmäßig für beide Teilstrahlen verbessert. Im Gegensatz zur offenen Bauform des Kreuzpolarisators ist bei der geschlossenen Bauform die zeitliche Abfolge der Polarisierungen für den polarisierten Teilstrahl abhängig vom Ort des Strahls (Abb.7b). Diese Abfolge erlangt aufgrund der faktoriellen Verbindung (das Resultat ist ein Produkt der beiden Faktoren) keine quantitative Bedeutung.

Die reziproke Kopplung bewirkt auch für die Polarisationsgüte (contrast) eine enorme Verbesserung im Vergleich mit einem einfachen Polarisator.

Die polarisierten Teilstrahlen enthalten, aufgrund der in Abbildung 7a angegebenen Prozesse, immer auch „Verunreinigungen“ der komplementären Polarisierung. So wird neben der dominierenden Transmission von „P“-Licht an W1 auch immer etwas „P“-Licht reflektiert. „S“-Licht wird am gleichen Polarisator nicht nur dominierend reflektiert, sondern auch transmittiert.

Beispielhaft werden an der Schicht W1 88% „S“-Licht zusammen mit 5% „P“-Licht reflektiert (Abb.7a). Dies ergibt für diesen einzelnen Polarisationsvorgang einen „polarisation contrast“ von nur 17,6:1. Allerdings wird dieser Strahl auch durch die Transmission an W2 polarisiert. Hier werden 88,5% „S“-Licht zusammen mit

nur 0,3% „P“-Licht transmittiert (dieser Kontrast liegt alleine bei 295:1).

Nach doppelter Polarisation erreichen nur mehr 0,015% „P“-Licht den „S“-polarisierten Teilstrahl (Abb.7b,c). Gleiche Werte gelten umgekehrt für den „P“-Strahl. Der kombinierte Kontrast erreicht so für beide polarisierte Teilstrahlen hohe Kontrastwerte „S/P“ und „P/S“ von über 5000:1 (Abb.7d).

4,4% des eingestrahlten Lichts wird unpolarisiert zurück in Einstrahlungsrichtung reflektiert, und nur weniger als 0,3% strahlt ohne Ablenkung durch den Kreuzpolarisator (Abb 7c,d). Der Rest, 17,4% jeder Polarisationsrichtung, wird in W1 und W2 absorbiert.

Diese Berechnung und Angaben gelten gleichermaßen auch für die offenen Bauformen von Abb. 2 und Abb. 3.

Während die offene Bauform des Kreuzpolarisators mit diskreten, individuell angeordneten Schichten kartesischer Polarisatoren leicht möglich ist, verlangt die kompakte Ausführung des Polarisationskreuzes einige Überlegungen zur Ausführung. Insbesondere hängt die Verwendung mit dem in Abbildungen 6a und 6b gezeigten symmetrischen Strahlengang von der Qualität und Dimensionierung der Kreuzungslinie ab.

Die kompakte dritte Verkörperung des Kreuzpolarisators (schematisch in Abb. 8a) kann zum Beispiel durch Glasprismen, auf die eine kartesische Polarisationschicht aufgetragen wurde, realisiert sein (Abb.8b,c). Diese Prismen können dann, evtl. mit einer wie von US 20030117708 beschriebenen Technik, assembliert werden. Abbildung 8b zeigt, dass zwei verschiedene solcher Prismen benötigt werden (d.h. zwei unbeschichtet identische Prismen werden auf jeweils einer der beiden flächengleichen rechteckigen Flächen mit einer der beiden Polarisationschichten W1 oder W2 beschichtet, und diese beiden verschieden beschichteten Teilprismen können durch Drehung nicht ineinander überführt werden). Für den Bau eines Kreuzpolarisators werden zwei dieser Prismenpaare benötigt. Alternativ kann ein kompakter Kreuzpolarisator durch zwei doppelt beschichtete Prismen (Abb.8c) realisiert werden, bei welchen die zwei Schichten auf die beiden benachbarten, flächengleichen Flächen eines Prismas aufgetragen

wurden. Diese zwei identischen Prismen werden in gegenüberliegenden Quadranten positioniert, um einen Kreuzpolarisator zu realisieren. Bei der Verwendung von 4 solchen Prismen in einer Anordnung, bei der immer gleiche Polarisationsschichten benachbart sind, lässt sich ein doppelter Kreuzpolarisator (Abb.8d) aufbauen, mit dem ein nochmals wesentlich größerer Kontrast erzielt werden kann. Alternativ können höhere Polarisationsgüten auch durch die Verwendung von WGP mit noch höheren Kontrasten, z.B. wie in US 4289381 oder US 20030072079 beschrieben, erreicht werden.

Ein wichtiges Detail der Konstruktion ist neben der lückenlosen Polarisationsschicht auch die Qualität der zentralen Kreuzungslinie. Diese wird neben Ungenauigkeiten in der Kante des Trägerprismas auch durch die Dicke der kartesischen Polarisationsschicht bestimmt - die bei WGP von Moxtek mit weniger als $0,2\mu\text{m}$ beiträgt.

Während in Abb.8 nur der Aufbau für die kompakte dritte Verkörperung unserer Erfindung (Sonderfall $0^\circ, 90^\circ$) dargestellt ist, sind die gezeigten Polarisationsprismen auch für die offenen Bauformen (z.B. Abb.3 und Abb.5) mit beliebigen komplementären Schichtachsen verwendbar.

Zusammenfassend wollen wir unsere Erfindung mit andern Anordnungen zusammengesetzter Polarisatoren, die als Lichtführungsarchitekturen beschrieben wurden, vergleichen (Abb.9).

Abbildung 9a zeigt eine solche kreuzförmige Lichtführungsarchitektur aus vier einzelnen polarisierenden Strahlenteilern, wie sie z.B. bei US 5921650, US 6280034 oder EP 1337117 eingesetzt wird. In allen Fällen werden 4 gleichgerichtete Polarisatoren kreuzförmig angeordnet. Für den Fachmann ist leicht ersichtlich, dass nur eine einarmige Einstrahlungsbreite möglich ist. Aufgrund der Gleichgerichtetheit der aufeinanderfolgenden Polarisationen wird der P-Strahl, der von einer Polarisationsschicht transmittiert wird, auf eine weitere Polarisationsschicht geführt, die ihn ebenfalls zum größten Teil wieder transmittiert. Gleches gilt für den S-Strahl, der von einer Schicht reflektiert wird, und so auf eine zweite geführt wird, die ihn wieder reflektiert.

Daraus ergibt sich ein Strahlausgang für den P-Strahl, der die Kreuzanordnung unabgelenkt passiert, während der S-Strahl in den Quadranten des Eingangsstrahls zurückgespiegelt wird. Der Strahlengang ist in Bezug auf die optischen Achsen der P- und S-polarisierten Teilstrahlen also nicht symmetrisch. Nur zwei Quadranten werden für Ein- und Ausgänge aus dem Polarisator genutzt. Die repetitive Kopplung von Polarisierungen führt bei dieser Anordnung zwar zu einer drastischen Zunahme der Polarisationsgüte. Asymmetrien in Bezug auf Lichtstärke und Kontrast nehmen in den beiden Teilstrahlen aber auch zu. Der Kreuzpolarisator (Abb.9b) unterscheidet sich grundlegend von der auf den ersten Blick ähnlich anmutenden Anordnung. In der kompakten Form kann eine zweiarmige Einstrahlbreite verwendet werden. Im Kreuzpolarisator werden die Wirkungen komplementärer Polarisatoren gekoppelt. Dadurch entsteht eine wechselseitige, reziproke Polarisierung, bei der beide Teilstrahlen den gleichen Prozessen unterworfen werden. Der Strahlengang bei der kompakten Form ist symmetrisch, beide Teilstrahlen werden einmal gefaltet. Dies kann für die Anwendung weitreichende Konsequenzen haben, die wir in einer begleitenden Patentanmeldung ausführen.

Abbildungslegende

- A: Achse der polarisationsbestimmenden Struktur im kartesischen polarisierenden Strahlenteiler (PBS).
- α : Polarisationswinkel, den die Strukturachse A in der Polarisationschicht W mit der Grundebene der Anordnung aufweist.
- W1, W2: polarisierende Schichten eines kartesischen PBS, wobei W2 funktionell komplementär zu W1 polarisiert, in den Abbildungen ist die gegeneinander um 90 Grad gedrehte Stellung der Strukturachsen durch die gestrichelte Darstellung von W1 (hier könnte die polarisationsbestimmende Strukturachse A1 senkrecht zur Zeichenebene stehen) und die durchgezogene Linie von W2 (hier könnte die Strukturachse A2 parallel zur Zeichenebene liegen) angedeutet.
- W3, W4: polarisierende Schichten eines kartesischen PBS, wobei W3 spiegelbildliche Stellung der Strukturachsen zu W2 aufweist, W4 spiegelbildlich zu W1 ist.

POI: Einfallsebene des Lichtstrahls, definiert durch die Ebene, die vom Einfallsstrahl und der Normalen der Polarisationsschicht gebildet wird (engl: plane of incidence).

P,S: Polarisierte Teilstrahlen in Anlehnung an die Terminologie der Funktion des klassischen MacNeille PBS, wobei S senkrecht zur POI und P parallel zur POI polarisiert sind. In den Zeichnungen mit komplexen Polarisatoren beziehen sich diese Begriffe auf die gesamte Anordnung, nicht auf einzelne Polarisationsschichten. Der S-Strahl wird in den Abbildungen als gepunktete Linie dargestellt, der P-Strahl als durchgezogenen Linie.

S_t, P_t : Transmissionsfaktor für S- bzw. P-polarisiertes Licht

S_r, P_r : Reflexionsfaktor für S- bzw. P-polarisiertes Licht

S_a, P_a : Absorptionsfaktor für S- bzw. P-polarisiertes Licht

T,R: Transmissiver (T) und reflektierter Strahl (R)

Kurzbezeichnung der Abbildungen

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich von Polarisationsstrahlenteilern PBS nach MacNeille (a) und kartesischen polarisierenden Strahlenteilern nach dem Prinzip von Drahtgitterpolarisatoren (b-d).

Abbildung 2 zeigt eine erste Verkörperung des Kreuzpolarisators mit 3 Polarisationschichten.

Abbildung 3 zeigt eine zweite Verkörperung des Kreuzpolarisators mit einer vierten Polarisationschicht.

Abbildung 4 zeigt Vorder- und Rückseite von zwei komplementären Polarisationschichten W1 und W2 (a,b) und ihre relativen Achsenstellungen (c).

Abbildung 5 zeigt zwei Sonderformen der zweiten Verkörperung des Kreuzpolarisators (a,b).

Abbildung 6 zeigt den Kreuzpolarisator in einer dritten Verkörperung (a,b).

Abbildung 7 erklärt exemplarisch den quantitativen Lichtfluß in der Erfindung und erläutert das Prinzip der komplementären (a) und gekoppelten reziproken Polarisatoren (b,c).

Abbildung 8 zeigt den funktionellen Kern des Kreuzpolarisators (a,d) und exemplarisch zwei Komponenten (b,c), aus denen ein Kreuzpolarisator

sinnvollerweise aufgebaut werden kann.

Abbildung 9 zeigt den Kreuzpolarisator im Vergleich mit einer kreuzförmigen Anordnung von gleichgerichteten Polarisatoren zur Lichtführung in Anzeigevorrichtungen.

Detailbeschreibung der Abbildungen

Da die Polarisationsschichten als Drahtgitter recht anschaulich gemacht werden können, und die Erfindung auch damit aufgebaut sein kann, haben wir eine schematische Darstellung des Drahtgitters für kartesische Polarisatoren in den Abbildungen gewählt.

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich der Wirkungsprinzipien von MacNeille PBS (a) und kartesischen PBS (b-d). Wird ein unpolarisierter Lichtstrahl unter dem Brewster'schen Winkel θ_B auf einen MacNeille PBS eingestrahlt (Abb.1a), entstehen zwei polarisierte Teilstrahlen, ein reflektierter (R) und ein transmittierter Teilstrahl (T). R ist senkrecht zur Einfallsebene (POI) polarisiert - dieser wird als S-polarisiert definiert. Der Schwingungsvektor des transmittierten Teilstrahls T schwingt parallel zur POI (er wird als P-polarisiert bezeichnet). Der dielektrische Dünnpfilm im PBS (als Kreis gekennzeichnet) hat keine Achse - eine virtuelle Drehung ist nicht relevant für die Polarisation, die allein durch POI bestimmt wird.

Abb.1b-d zeigen die Wirkungsweise eines „kartesischen“ PBS am Beispiel eines Drahtgitter-Polarisators WGP. Die Schwingungsvektoren der beiden linear polarisierten Teilstrahlen (analog P und S genannt) werden nicht durch die Einfallsebene definiert, sondern sind abhängig von der Rotation der Struktur-Achse A der polarisationswirksamen Schicht, die durch den Verlauf von Linien angezeigt ist. Ein unpolarisierter Einfallsstrahl wird derart in zwei linear polarisierte Teilstrahlen zerlegt, dass der Schwingungsvektor des reflektierten Strahls parallel zu Ausrichtung A der Drahtlinien schwingt und der Schwingungsvektor des transmittierten Strahls senkrecht zu A.

In Abb.1b ist die Drahtausrichtung A so gewählt, dass die entstehenden Teilstrahlen wie beim MacNeille PBS polarisiert sind, in Abb.1d, bei einer relativen Drehung der Achse aus Abb.1b um 90 Grad ist die Polarisation der

Teilstrahlen hingegen komplementär zum MacNeille polarisiert. Dieses Prinzip komplementärer Polarisationswirkung wird in unserer Erfindung mehrfach genutzt. Abb.1c zeigt exemplarisch, dass durch entsprechende Wahl von A jede beliebige Polarisation eines der polarisierten Teilstrahlen erreicht werden kann. In allen drei Fällen wird die Polarisation des transmittierten Strahls unabhängig von POI durch die Strukturachse A bestimmt. Der transmittierte Strahl ist immer senkrecht zu A polarisiert, die Polarisationsrichtung des reflektierten Strahls wird in Abb.2 erläutert. Bei einer 90 Grad Drehung der Strukturachse A bezüglich einer beliebigen Ausgangslage (vgl. Abb.1b,d) ist die Polarisierung von reflektiertem und transmittiertem Strahl vertauscht.

Abbildung 2 zeigt eine erste Verkörperung der Erfindung, die offene Bauform des Kreuzpolarisators, der hier aus 3 Armen (hier beispielhaft T-förmig angeordnet) besteht. Unpolarisiertes Licht strahlt nur auf eine kartesische Polarisationschicht W1 ein. Hier entstehen zwei polarisierte Teilstrahlen, ein transmittierter und ein reflektierter Teilstrahl. An W1 wird ein Teilstrahl reflektiert, dessen Schwingungsvektor auf W1 abgebildet ist. Der dazu senkrechte Schwingungsvektor des transmittierten Teilstrahls, der sich bei der Transmission nicht ändert, ist auf W2 abgebildet. Dieser Teilstrahl wird an W2 reflektiert. Deshalb ist die Strukturachsenrichtung von W2 senkrecht zu der von W1. Der reflektierte Teilstrahl wird ebenfalls auf eine komplementäre Polarisationschicht W3 geführt, dessen Polarisationsrichtung nach der Reflexion an W1 ist auf W3 abgebildet. Diese ist hier nicht senkrecht zu der des transmittierten. (Die Polarisationsrichtungen des reflektierten Teilstrahls „vor“ und „nach“ der Reflexion sind spiegelbildlich zur Y-Achse des XYZ-Polarisations-Bezugssystems jedes Lichtstrahls). Für eine reziproke Polarisation an W3 (Transmission des an W1 reflektierten Teilstrahls) muss deshalb die Strukturachsenrichtung der Schicht W3 spiegelbildlich zu der von W2 sein. Da auch der zunächst an W1 transmittierte Teilstrahl eine Reflexion an W2 durchläuft, stehen am Ausgang des Kreuzpolarisators die Schwingungsrichtungen beider polarisierter Teilstrahlen senkrecht zueinander (sind also komplementär polarisiert).

Abb.3 zeigt in einer zweiten Verkörperung der Erfindung eine Bauform mit vier Polarisationschichten in einer kreuzförmigen Anordnung. Durch die Hinzunahme

einer vierten Schicht W4 kann die Einstrahlung nun entweder auf W1 oder auf W3 erfolgen (hier sind beide Varianten simultan gezeigt). Die sich entsprechenden Teilstrahlen sind die senkrecht zueinander schwingenden Teilstrahlen, die über W1 und W4 beziehungsweise über W2 und W3 die Anordnung verlassen. Die resultierenden komplementären Teilstrahlenpaare sind jeweils spiegelbildlich polarisiert.

Abb.4 zeigt wie die spiegelbildlichen Winkel von W1 und W4 beziehungsweise die von W2 und W3 durch Drehen der Schicht um eine Achse (gezeigt wird die vertikale Achse als Drehachse) erreicht werden können. Die (teiltransparenten) Polarisationsschichten W1 (Abb.4a links), sowie W2 (Abb.4a, rechts) besitzen eine Vorder- und Rückseite (Vorder- und Rückseiten werden in Abb.4bc durch tiefgestelltes R und L gekennzeichnet), auf die eingestrahlt werden kann.

Betrachtet man diese beiden Seiten (b) so erkennt man, dass die Ausrichtung der Achsen im rechten (R) und linken Bild (L) spiegelbildlich zueinander ist (der Winkel α der Strukturachse entspricht $-\alpha$ in der spiegelbildlichen Anordnung). W4 und W1 lassen sich so über die zwei Seiten einer Schicht darstellen - und sind austauschbar. Dies hängt in der Praxis natürlich von der Form der Schicht, die die gedrehte Anwendung erlauben muss, ab. Gleichermaßen gilt für das zum Spiegelpaar W1;W4 komplementäre Spiegelpaar W2;W3, dessen Achsenausrichtungen sich wegen der Komplementarität als $\alpha - 90^\circ$ beziehungsweise im Spiegelbild als $-(\alpha - 90^\circ)$ angeben lassen. Abb.4c macht dieses Prinzip komplementär wirkender kartesischer Polarisationsschichten noch einmal deutlich. Die Schichtachsen komplementärer Polarisationsschichten stehen senkrecht zueinander.

Abb.5 zeigt zwei Sonderformen des Kreuzpolarisators. Bei der Ausrichtung der Achse A1 in einer Polarisationsschicht W1 mit $\alpha = 45^\circ$ zur Grundebene (a) ergibt sich folgende Situation: die zu dieser Stellung senkrecht stehende, komplementäre Achsenstellung ist $\alpha - 90^\circ$, d.h. -45° . Dieser Winkel entspricht aber nun auch genau dem spiegelbildlichen Winkel $-\alpha$. So kann für diesen speziellen Achsen- (und auch Polarisations-Winkel) bei der Verwendung von rechtwinkligen Polarisationsschichten ein Kreuzpolarisator aus nur einem Schichttyp aufgebaut sein.

Eine ebenfalls sehr interessante Sonderstellung nimmt die in Abb.5b gezeigte Achsenlage ein. Hier sind die beiden Schichten senkrecht und parallel zur Grundebene. Die entsprechenden Winkel 0 und 90° sind identisch zu (bzw. nicht zu unterscheiden von) ihrer spiegelbildlichen Anordnung (-0° ; -90°). Dies führt dazu, dass den gegenüberliegenden Schichten keine Spiegelsymmetrie anzusehen ist bzw. diese gleich aufgebaut sein können.

Abbildung 6 zeigt die dritte Verkörperungen unserer Erfindung des Kreuzpolarisators in der kompakten Bauform. Er ist aus zwei kartesischen Polarisationschichten W1 und W2 aufgebaut, deren Achsen A1 und A2 senkrecht und parallel zur Zeichenebene liegen, also gegeneinander um 90° gedreht sind, und die deshalb komplementär wirken. Die in Abbildung 6a,b dargestellte Anordnung eines kompakten Kreuzpolarisators ist beispielhaft die eines rechtwinkligen, gleichschenkligen Kreuzes. Diese Verkörperung des Kreuzpolarisators hat zwei optische Achsen, die in den winkelhalbierenden Schnittebenen von W1 und W2 liegen. In der vollflächigen Beschickung durch Licht, die in Abb.6a zu sehen ist, wird unpolarisiertes Licht parallel zu einer dieser optischen Achsen eingestrahlt. Die Lichtstrahlen im linken Bildteil treffen zunächst die Polarisationschicht W1, die den Lichtstrahl derart in zwei Teilstrahlen trennt, dass der transmittierte Strahl P-polarisiert ist und der reflektierte Strahl S-polarisiert. Rechts dagegen trifft das unpolarisierte Licht zunächst auf die Polarisationschicht W2, die den Lichtstrahl aufgrund der komplementären Ausrichtung der Strukturachse derart in zwei Teilstrahlen trennt, dass der transmittierte Strahl S-polarisiert ist und der reflektierte Strahl P-polarisiert. Die transmittierten Teilstrahlen treffen dann, wie auch die reflektierten Teilstrahlen, auf die jeweils komplementäre Polarisationschicht, die sie dann reflektieren respektive transmittieren.

Die zueinander senkrecht polarisierten Teilstrahlen P und S verlassen dann den Kreuzpolarisator in zwei gegenüberliegenden Quadranten. Jeder Teilstrahl, für beide Polarisationsrichtungen, durchläuft sowohl eine Transmission an einer Polarisationschicht, als auch eine Reflexion an der komplementären Schicht. Die Reihenfolge von Transmission und Reflexion ist bei der kompakten Verkörperung vom Ort des Teilstrahls abhängig. (In Abbildung 7 werden diese Vorgänge quantitativ belegt). In Abbildung 6b ist die Kombination von zwei Teilstrahlen in

der gleichen Anordnung zu sehen. Sie verläuft analog zur Strahlenteilung in der umgekehrten Reihenfolge.

Abbildung 7 zeigt den detaillierten Strahlenverlauf im Kreuzpolarisator.

Abb.7a gibt die Transmissions (t) -, Reflexions (r) -, und Absorptions-Faktoren (a) der Polarisationsschichten W1 und W2 bei der Verwendung von Proflux-Polarizern der Firma Moxtek an. Die Abkürzungen lesen sich beispielsweise so: $P_t(W1)$ steht für den Transmissionsfaktor (t) für „P“-polarisiertes Licht an der Polarisationsschicht W1. Die Komplementarität der um 90 Grad gegeneinander gedrehten Polarisatoren wird in den Werten deutlich.

Abbildung 7b zeigt den Strahlenverlauf der beiden polarisierten Teilstrahlen im Kreuzpolarisator. Die Lage der Eingangsstrahlen ist so gewählt, dass die Kontakte der Strahlen mit W1 und W2 getrennt dargestellt werden konnten. Alle zum P-Strahl gelangenden Strahlen wurden durch eine Transmission an W1 und eine Reflexion an W2 (reziproke Polarisation) polarisiert. Der Gesamtfaktor ist für alle Strahlen gleich ($P_r(W1) * P_t(W2) = P_t(W2) * P_r(W1)$).

Aufgrund der Komplementarität der Schichten W1 und W2 ist dieser Faktor mit dem für den S-Strahl identisch, da $S_r(W2) = P_r(W1)$ und $S_t(W2) = P_t(W1)$.

Der in Abb.7c dargestellte Formelteil berechnet die relative Lichtstärke aller acht, in Abb.7d gezeigten Strahlen, die bei der Einstrahlung in den unten abgebildeten Quadranten entstehen. Die erste Zeile berechnet den durch Kopplung einer Transmission an W1 und einer Reflexion an W2 in den linken Quadranten gestrahlten P-Strahl, der dem an W2 transmittierten und an W1 reflektierten S-Strahl entspricht, der in den rechten Quadranten gestrahlten wird. Fast 78% werden hier ausgestrahlt. Die zweite Zeile berechnet die vergleichsweise sehr geringen Verunreinigungen dieser Ausgangsstrahlen, die für den S-Kanal durch die Reflexion von P an W1 und Transmission an W2 entstehen, und für den P-Kanal durch die Reflexion von S an W2 und Transmission an W1. Sie betragen nur 0,015% des Eingangslichts.

Durch die reziproke Wirkungskopplung im Kreuzpolarisator ergeben sich gleiche Zahlen für die unterschiedlich polarisierten Ausgangsstrahlen.

Die dritte Zeile berechnet den (unpolarisierten) Strahl, der sich aus der doppelten Transmission unabgelenkt aus dem Kreuzpolarisator in den oben dargestellten

Quadranten ergibt. Knapp 0,3% unpolarisiertes Licht strahlen durch den Kreuzpolarisator. Etwa 4,4% unpolarisiertes Licht werden auf den Eingangsstrahl zurückreflektiert, wie sich aus der vierten Zeile ergibt.

Abbildung 7d zeigt die relative Stärke aller Lichtstrahlen, normiert auf den relativen Anteil der S- und P-Komponenten im eingestrahlten Licht, das auf den im Bild unten liegenden Quadranten eingestrahlt wird.

Abbildung 8 zeigt in isometrischen Darstellungen den Aufbau des Kreuzpolarisators (beispielhaft wie in den vorherigen Abbildungen als rechtwinkliges gleichseitiges Kreuz, Abb.8a) und den möglichen Aufbau durch polarisierende Module (Abb.8b,c).

Abb.8b zeigt ein gerades Prisma, das aus zwei geraden Teilprismen zusammengesetzt ist. Die Grundfläche dieser Teilprismen ist ein rechtwinkliges, gleichschenkliges Dreieck. Sie unterscheiden sich durch die um 90 Grad verschiedene Richtung der aufgebrachten Polarisationsschicht. Die Teilprismen werden so angeordnet, dass im zusammengesetzten Prisma eine der Polarisationsschichten zwischen den beiden Teilprismen liegt. Zwei der in Abb.8b gezeigten zusammengesetzten Prismen werden für einen Kreuzpolarisator benötigt. Alternativ kann der Kreuzpolarisator natürlich auch aus 4 Einzelprismen (je 2 gleichen) zusammengesetzt werden.

Der Kreuzpolarisator kann aus nur einem Prismentyp gefertigt werden (Abb.8c), auf dem beide komplementär wirkenden Polarisationsschichten aufgebracht sind.

Aus diesem Modul sind einfache Kreuzpolarisatoren zu generieren, indem zwei solcher Module zwei gegenüberliegende Quadranten des Kreuzes bilden.

Alternativ können aus 4 solchen in Abbildung 8c gezeigten Modulen Kreuzpolarisatoren hergestellt werden, die alle Schichten doppelt enthalten (Abb.8d), was für bestimmte Anwendungen mit extrem hohen Anforderungen an Kontrast bzw. Polarisationsgüte sinnvoll sein kann.

Abbildung 9 zeigt den Vergleich unserer Erfindung mit einer kreuzförmigen Anordnung von Polarisatoren, die als Lichtführungsanordnung in projektiven Anzeigevorrichtungen nach dem Stand der Technik beschrieben wurden (siehe Text). Die Lichtführungsanordnung in Abb.9a besteht aus 4 gleichartig wirkenden Polarisatoren. Der S-Strahl wird zweimal reflektiert (gespiegelt), der P-Strahl wird

zweifach transmittiert und gerade durch die Anordnung geführt (die gleiche Polarisationswirkung in jeder verwendeten Stelle des Kreuzes ist als SrPt aufgeführt, da sie hohe Transmission für P und hohe Reflexion für S aufweist). Der in Abb. 9b gezeigte Kreuzpolarisator unterscheidet sich grundlegend von der auf den ersten Blick ähnlichen Anordnung. Im Kreuzpolarisator werden komplementäre Polarisatoren W1, W2 verwendet. Es kann eine zweiarmige Einstrahlung verwendet werden, die sich also über die gesamte Breite der Anordnung erstreckt. Die erzeugten Teilstrahlen werden symmetrisch zur Lichteinstrahlung beide einmal nach außen gespiegelt. Weitere wichtige Unterschiede liegen in der Funktion: Jeder Strahl wird durch eine Reflexion und eine Transmission gleichartig behandelt und ist entsprechend von gleicher Polarisationsreinheit und Lichtintensität. Weitere Unterschiede in der Funktion werden im Text ausführlicher erläutert.

Während die Erfindung im vorliegenden Text anhand detaillierter Verkörperungen dargestellt und beschrieben wurde, sollten diese Verkörperungen als Illustration und nicht als Limitierung der Erfindung verstanden werden; Veränderungen in Form und Detail können durch den Fachmann abgeleitet werden, ohne dabei den Rahmen der Erfindung zu verlassen, die durch folgende Ansprüche definiert ist:

Ansprüche

1. Vorrichtung zur reziproken Polarisation mit komplementär wirkenden kartesischen Polarisationsschichten („Kreuzpolarisator“), dadurch gekennzeichnet, dass
 - 1.1 er aus Polarisationsschichten W1 und W2 besteht,
 - 1.2 alle Polarisationsschichten in Ebenen liegen, die senkrecht zu einer gemeinsamen Grundebene stehen,
 - 1.3 in W1 eine Achse A1 liegt und in W2 eine Achse A2 liegt, und besagte Achsen definieren, welche Polarisationsrichtungen der auf W1 und W2 einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden beziehungsweise besagte Polarisationsschichten transmittieren („kartesische Polarisation“),
 - 1.4 jede besagte Achse A1 in jeder Polarisationsschicht W1 der Anordnung mit der Grundebene einen Polarisationswinkel α_1 oder $(-1)^*\alpha_1$ (spiegelbildliche Form) bildet (mit $-90^\circ < \alpha_1 \leq +90^\circ$),
 - 1.5 jede besagte Achse A2 in jeder Polarisationsschicht W2 der Anordnung mit der Grundebene einen Polarisationswinkel α_2 oder $(-1)^*\alpha_2$ (spiegelbildliche Form) bildet (mit $-90^\circ < \alpha_2 \leq +90^\circ$),
 - 1.6 die Summe der Beträge der Polarisationswinkel zweier verschiedener Polarisationsschichten W1 und W2 neunzig Grad beträgt („funktionelle Komplementarität“),
 - 1.7 der Strahlengang durch den Kreuzpolarisator beide Polarisationsschichten W1 und W2 beinhaltet („reziproke Kopplung“).
2. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass besagte Polarisationsschichten W1 und W2 vier kreuzförmig angeordnete Arme bilden.
3. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens einer der eingesetzten Arme die Polarisationsschichten W1 oder W2 doppelt besitzt.
4. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass einer der besagten Polarisationswinkel fünfundvierzig Grad beträgt.

5. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass einer der besagten Polarisationswinkel null Grad beträgt.

6. Kreuzpolarisator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass kartesische Polarisatoren mit zur Grundebene senkrechten Achsen A durch Dünnschichtpolarisatoren ersetzt sein können.

7. Kreuzpolarisator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des einfallenden Strahlenbündels zuerst auf W1 trifft und der andere Teil zuerst auf W2.

8. Polarisationsprisma, dadurch gekennzeichnet, dass

8.1 es eine Polarisationssschicht W1 mit einer Achse A1 und eine Polarisationssschicht W2 mit einer Achse A2 enthält, und besagte Achsen definieren, welche Polarisationsrichtungen der auf W1 und W2 einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden beziehungsweise besagte Polarisationssschichten transmittieren,

8.2 die beiden Polarisationssschichten W1 und W2 auf zwei Mantelflächen eines geraden Prisma (bei welchem die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks, aufgebracht sind;

8.3 die Achse A1 mit der Grundfläche einen Polarisationswinkel α_1 und die Achse A2 mit der Grundfläche einen Polarisationswinkel α_2 bildet (mit $-90^\circ < \alpha_1 \leq +90^\circ$ und $-90^\circ < \alpha_2 \leq +90^\circ$),

8.4 die Summe der Beträge der beiden Polarisationswinkel α_1 und α_2 neunzig Grad beträgt.

9. Polarisationsprisma, dadurch gekennzeichnet, dass

9.1 es eine Polarisationssschicht W1 mit einer Achse A1 und eine Polarisationssschicht W2 mit einer Achse A2 enthält, und besagte Achsen definieren, welche Polarisationsrichtungen der auf W1 und W2 einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden beziehungsweise besagte Polarisationssschichten transmittieren,

9.2 es aus einem geraden Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks besteht, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teil-Prismen (bei welchen die Kanten auf

der Grundfläche senkrecht stehen) mit den Grundflächen eines Dreiecks,

9.3 die Polarisationsschicht W1 auf eine der Mantelflächen des einen Teil-Prisma und die Polarisationsschicht W2 auf eine der Mantelflächen des anderen Teil-Prisma aufgebracht sind,

9.4 die beiden Teilprismen so zusammengesetzt sind, dass eine der Polarisationsschichten zwischen den Teilprismen zu liegen kommt,

9.5 die Achse A1 mit der Grundfläche einen Polarisationswinkel α_1 und die Achse A2 mit der Grundfläche einen Polarisationswinkel α_2 bildet (mit $-90^\circ < \alpha_1 \leq +90^\circ$ und $-90^\circ < \alpha_2 \leq +90^\circ$),

9.6 die Summe der Beträge der beiden Polarisationswinkel α_1 und α_2 neunzig Grad beträgt.

10. Verfahren zur reziproken Polarisation mit komplementär wirkenden kartesischen Polarisationsschichten („Kreuzpolarisation“), dadurch gekennzeichnet, dass

10.1 kartesische Polarisationsschichten W mit einer in W liegenden Achse A verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausrichtung besagter Achse A bestimmt, welche Polarisationsrichtungen der einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden beziehungsweise besagte Polarisationsschichten transmittieren,

10.2 funktionell komplementäre kartesische Polarisationsschichten W1 und W2 verwendet werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten so gewählt werden, dass der Schwingungsvektor des Lichts, das W1 transmittiert, senkrecht zu dem des Lichts steht, welches W2 transmittiert,

10.3 reziproke Kopplung komplementärer Polarisationen verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlen so geführt werden, dass ein Strahl, der zuerst auf eine Polarisationsschicht W1 trifft, und diese transmittiert, danach auf eine komplementär wirkende Polarisationsschicht W2 trifft, und ein Strahl, der zuerst auf eine Polarisationsschicht W1 trifft, an der er reflektiert wird, danach auf eine komplementär wirkende Polarisationsschicht W2 trifft.

Zusammenfassung

3

1. Vorrichtung und Verfahren zur reziproken Polarisation mit komplementär wirkenden kartesischen Polarisationsschichten (Kreuzpolarisator).

2.1 Bisherige Polarisatoren zeichnen sich durch eine einfache Bauform mit einer Polarisationsschicht aus. Dies führt zu Asymmetrien in der Strahlenlenkung und Reinheit der verschiedenen polarisierten Teilstrahlen. Die Aufgabe bestand darin, einen Polarisator zu erzeugen, der beide polarisierte Teilstrahlen gleich behandelt - dies bezüglich des Strahlengangs, der Polarisationsgüte und Lichtausbeute.

2.2 Die vorliegende Erfindung wird realisiert durch Verwendung von funktionell komplementär polarisierenden kartesischen Polarisationsschichten (W1, W2). Deren Anordnung bewirkt, dass beide Teilstrahlen eine Ablenkung erfahren. Dadurch wird eine symmetrische Lichtführung ermöglicht. Durch die reziproke, gekoppelte Polarisationswirkung an komplementären Schichten sind beide verschiedenen polarisierten Teilstrahlen (S,P) von identischer hoher Polarisationsgüte und Lichtstärke.

2.3 Der Kreuzpolarisator ermöglicht effiziente symmetrische Anordnungen von optischen Systemen, die mit komplementär polarisiertem Licht arbeiten.

3. Zeichnung

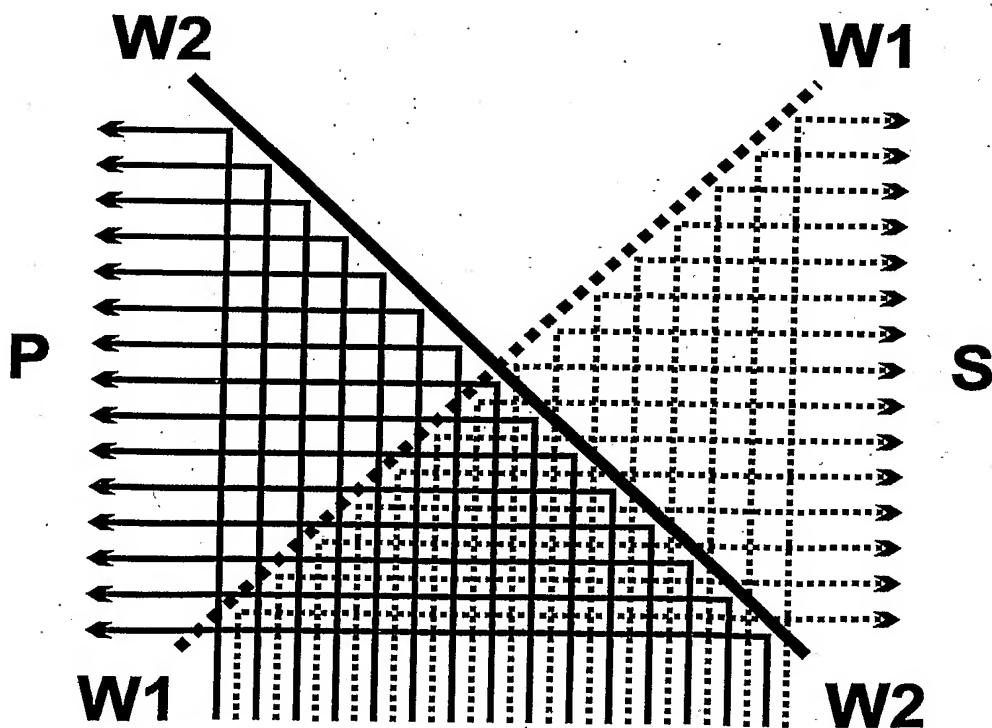


Abb. 1

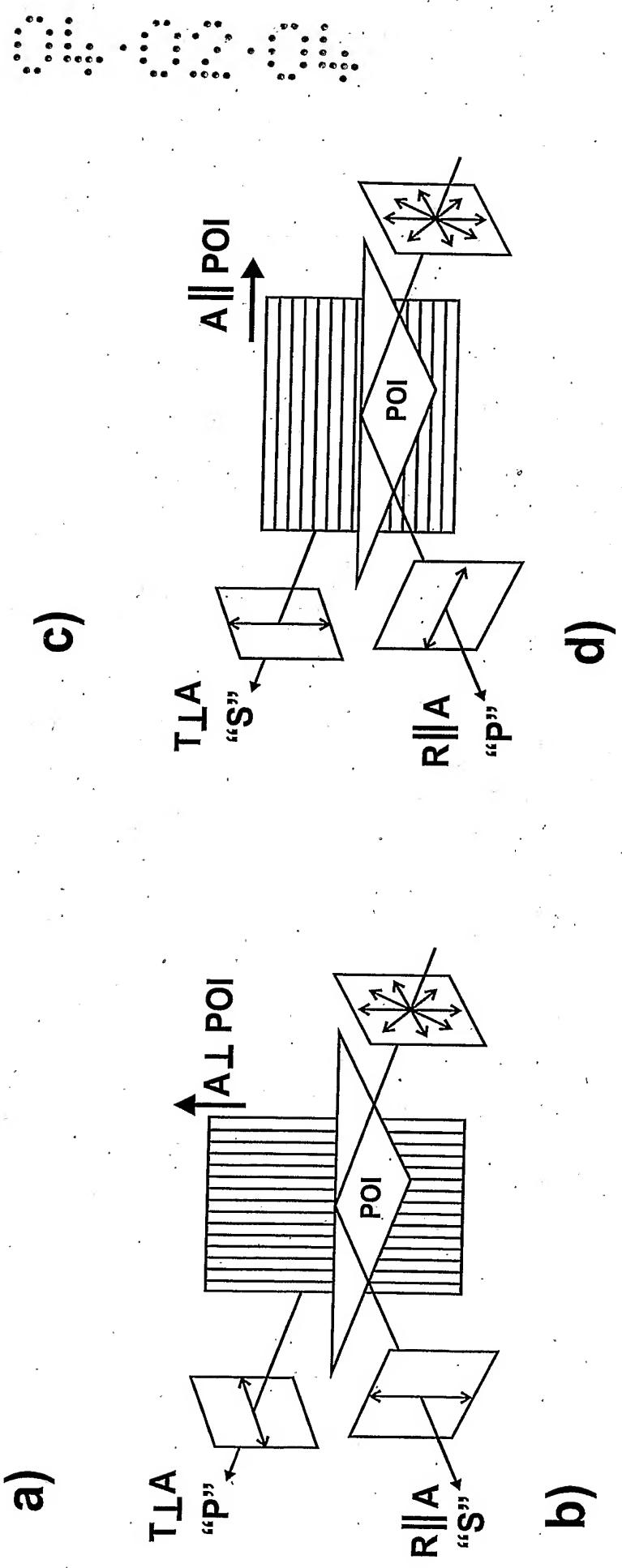
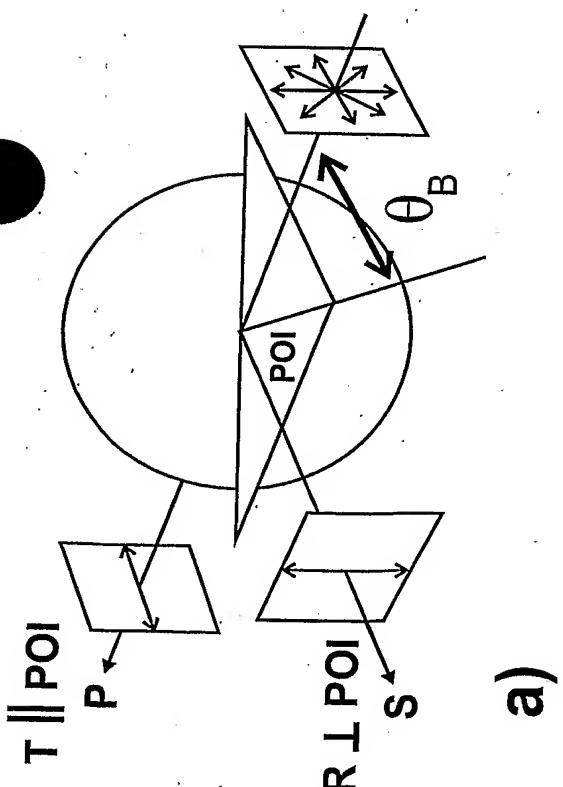


Abb. 2

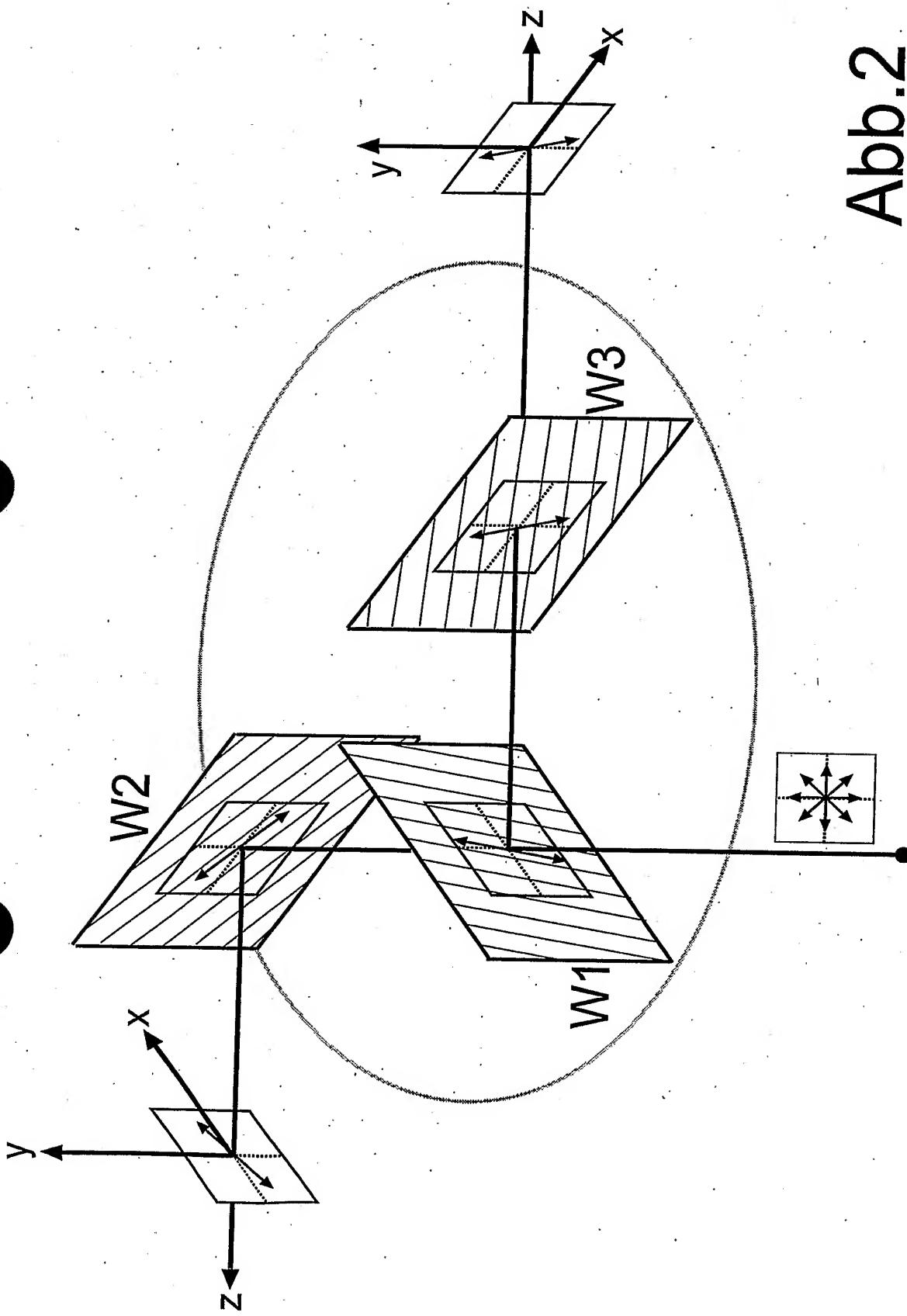
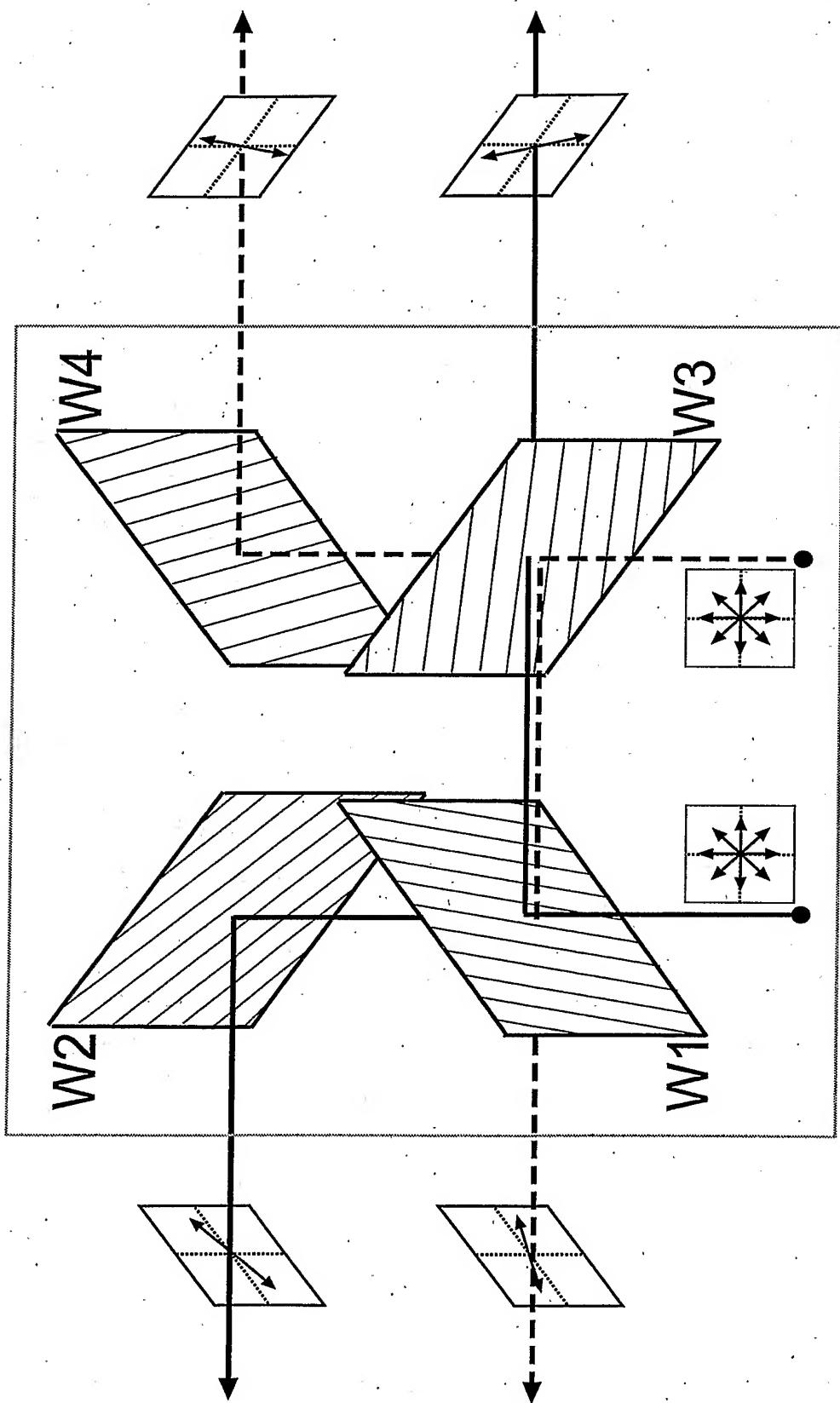


Abb. 3

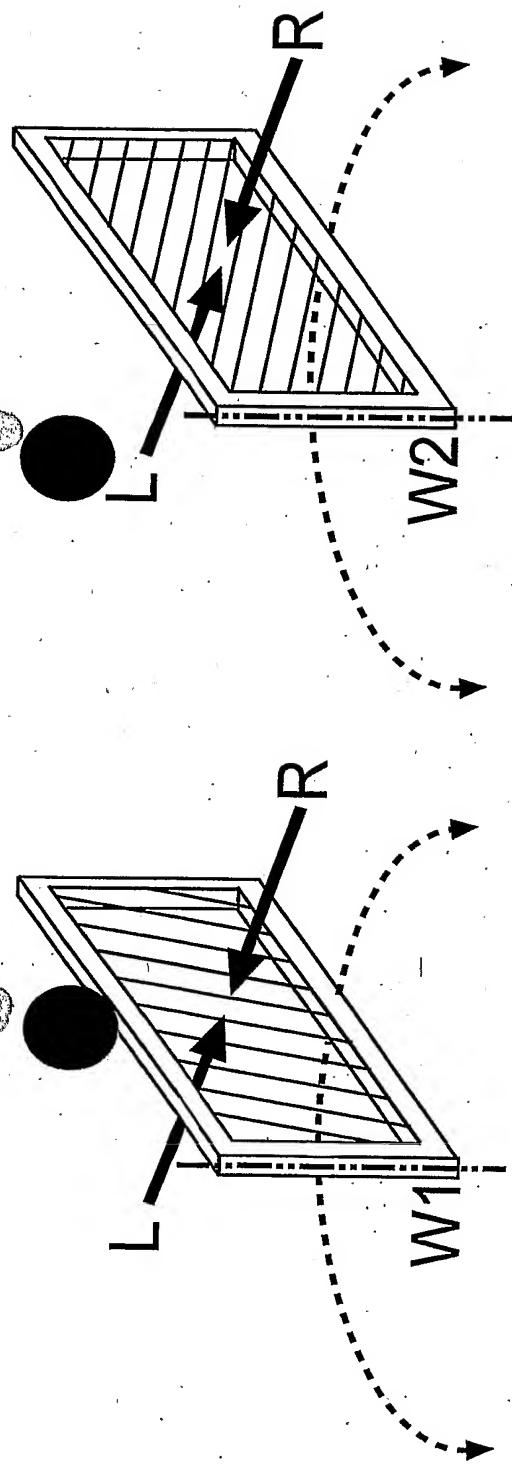


W 04 · 02 · 04

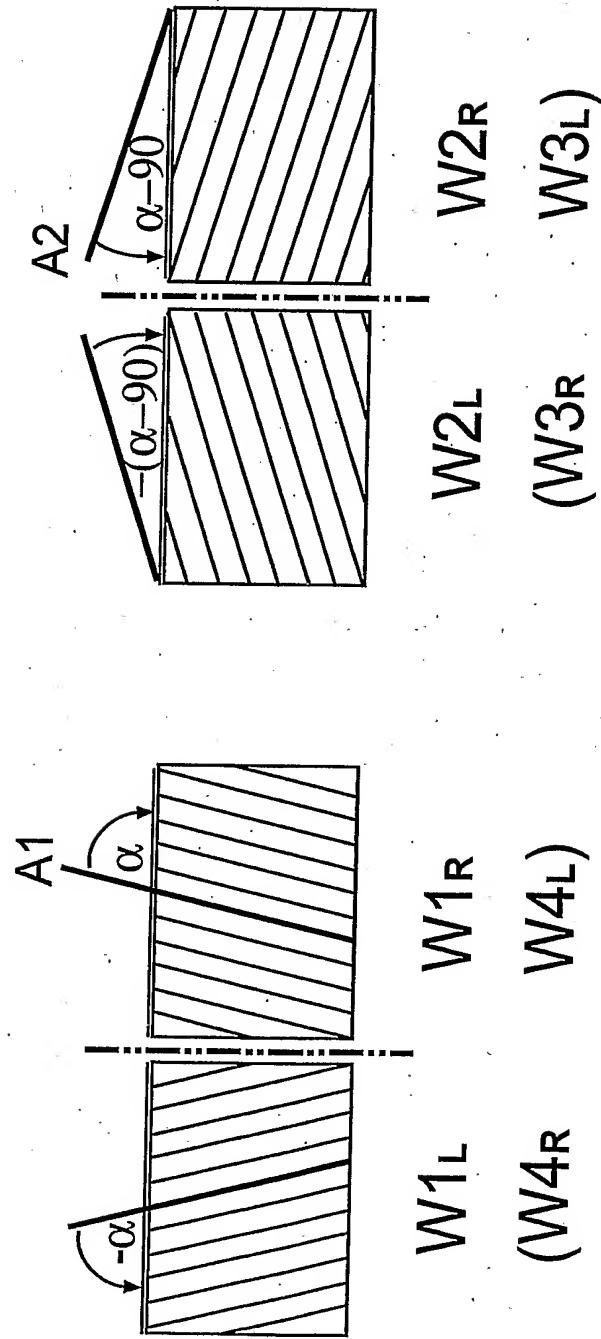
31

Abb. 4

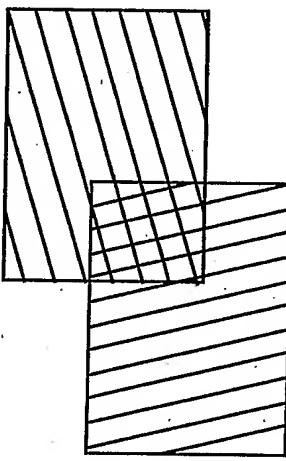
a)



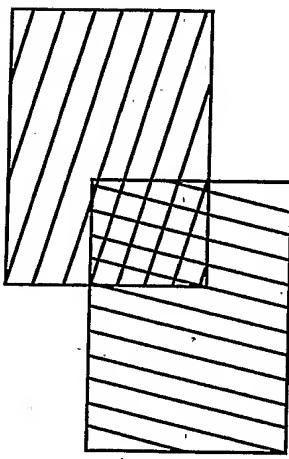
b)



Ablb. 4



$W1_L$ $W2_L$
 $W4_R$ $W3_R$



$W1_R$ $W2_R$
 $W4_L$ $W3_L$

c)

a)
b)

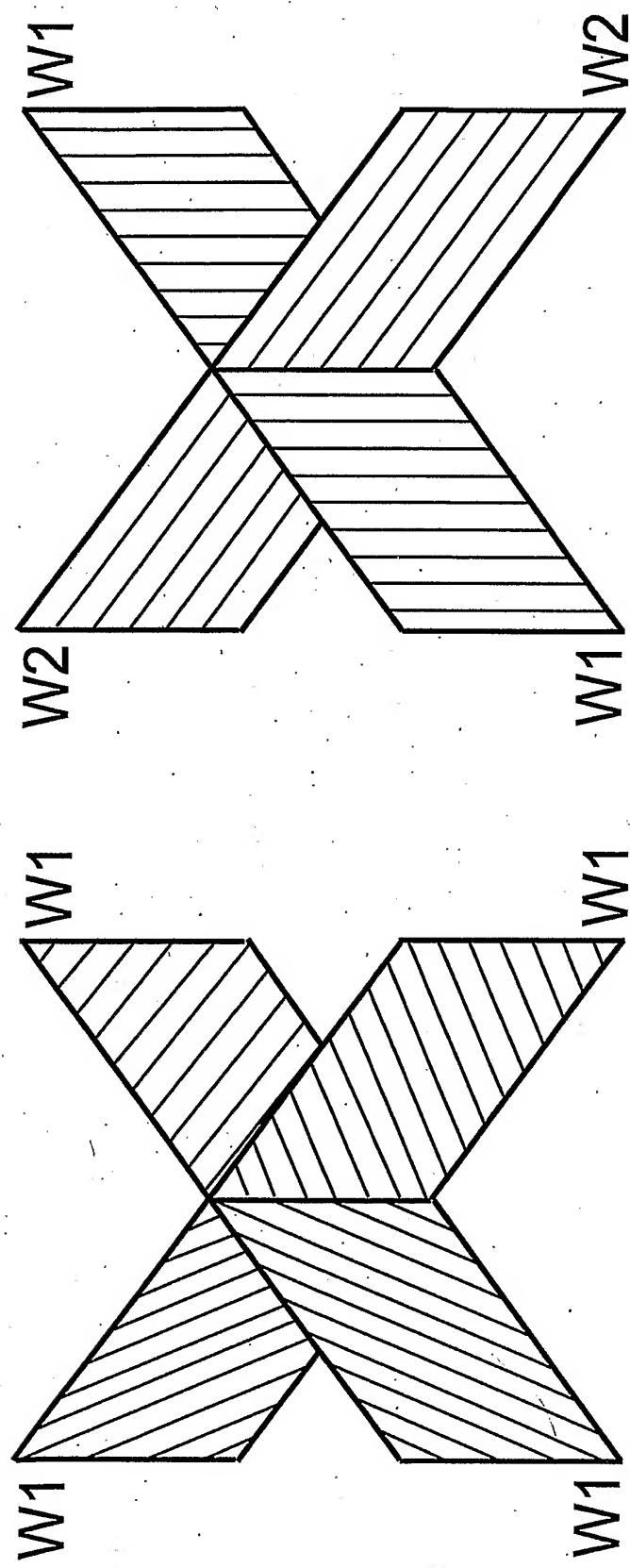


Abb. 5

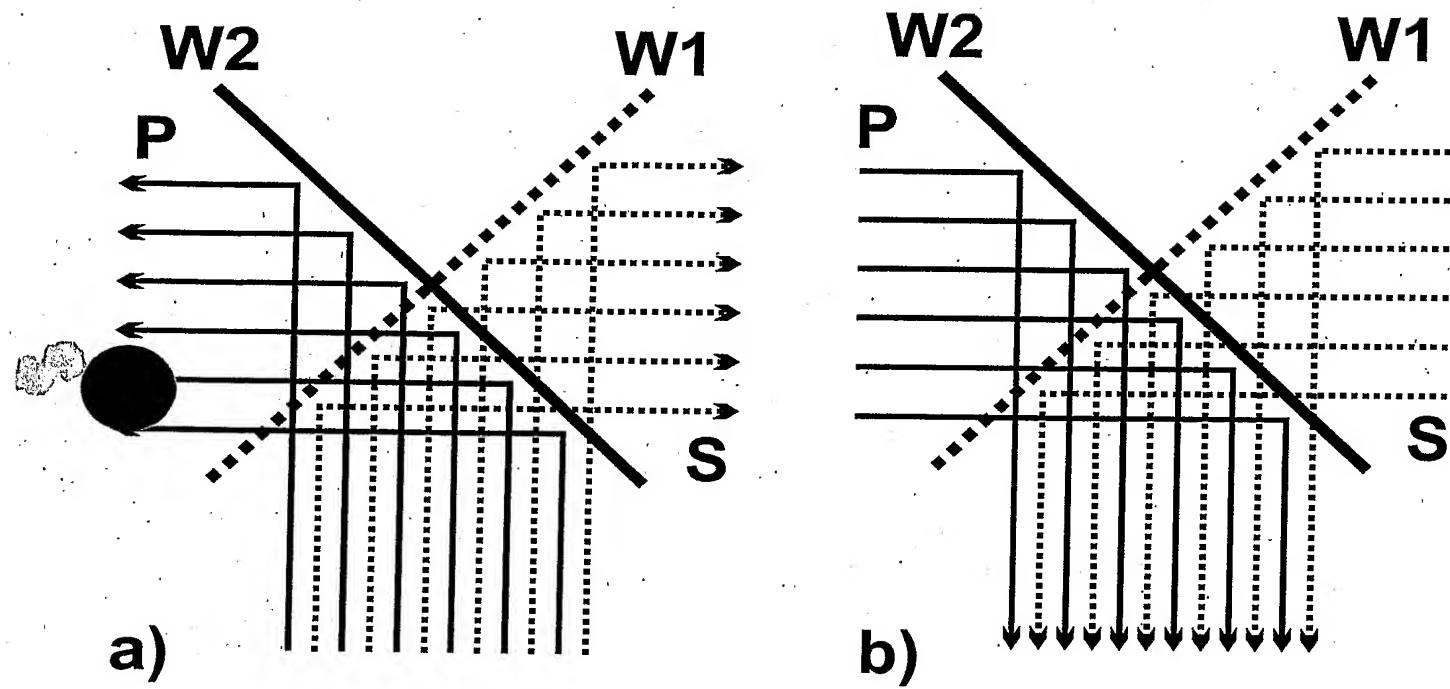


Abb. 6

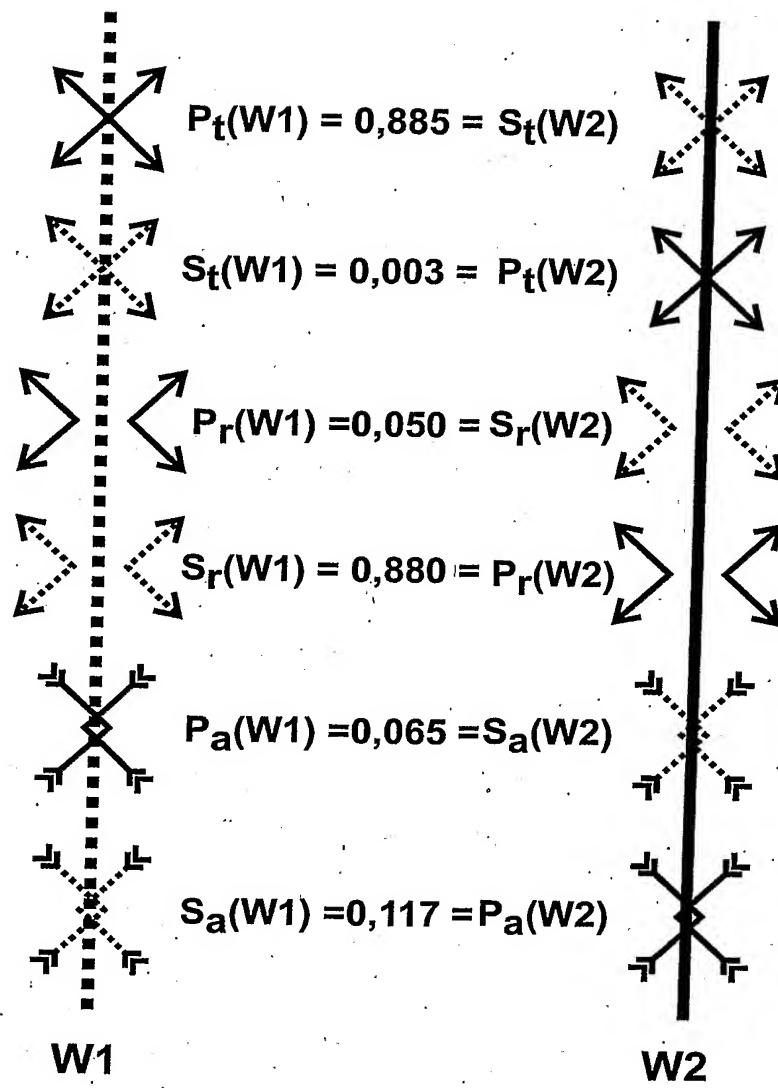
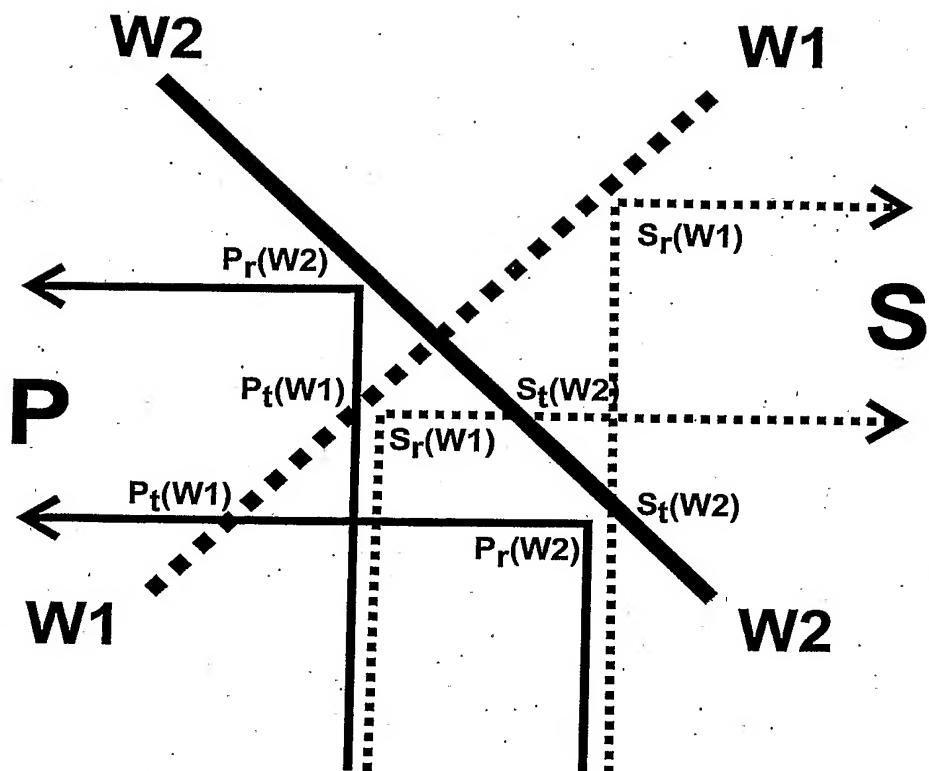


Abb. 7



b)

Abb. 7

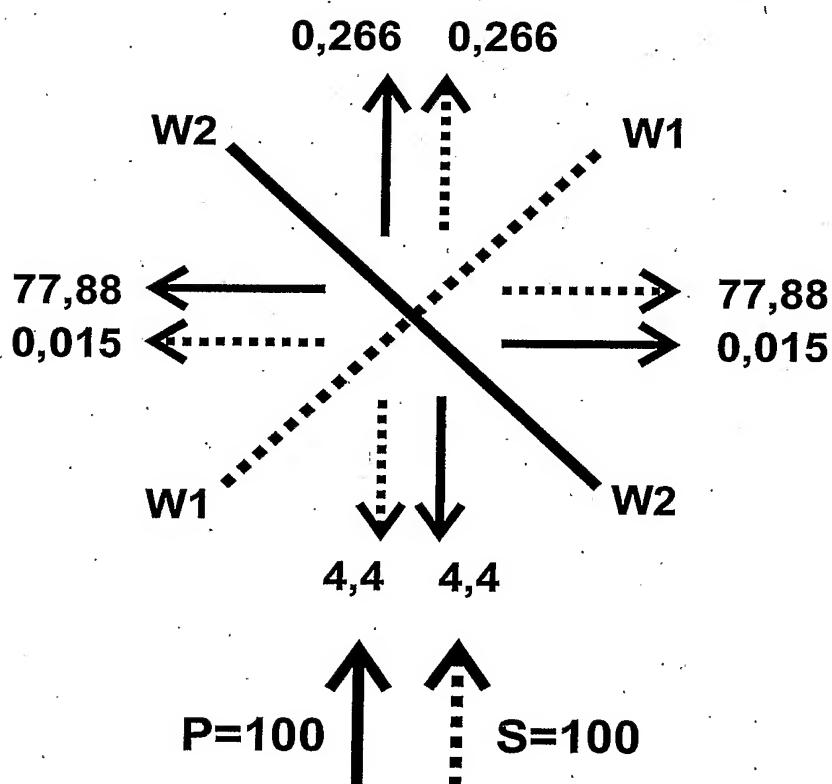
$$P_t(W1) \times P_r(W2) = S_t(W2) \times S_r(W1) = 0,7788$$

$$P_r(W1) \times P_t(W2) = S_r(W2) \times S_t(W1) = 0,00015$$

$$P_t(W1) \times P_t(W2) = S_t(W2) \times S_t(W1) = 0,002655$$

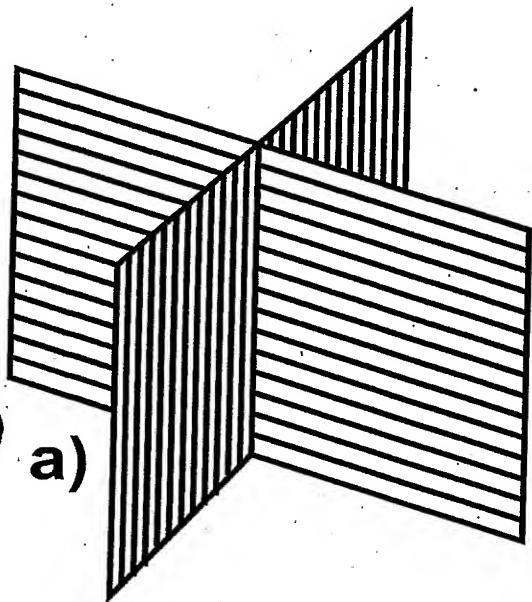
$$\Pr(W1) \times \Pr(W2) = S_r(W2) \times S_r(W1) = 0,044$$

c)

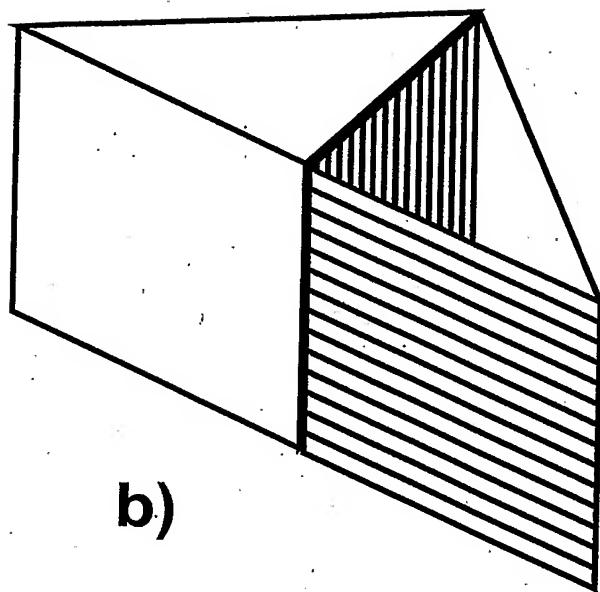


d)

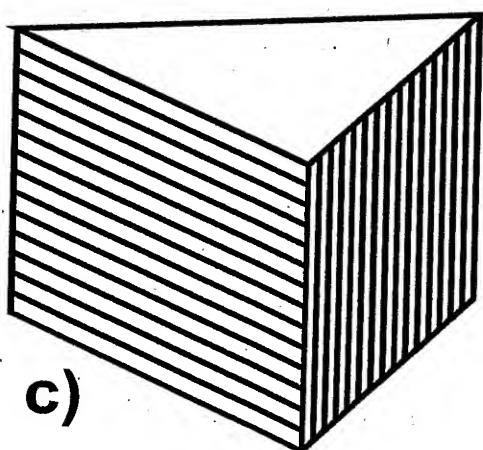
Abb. 7



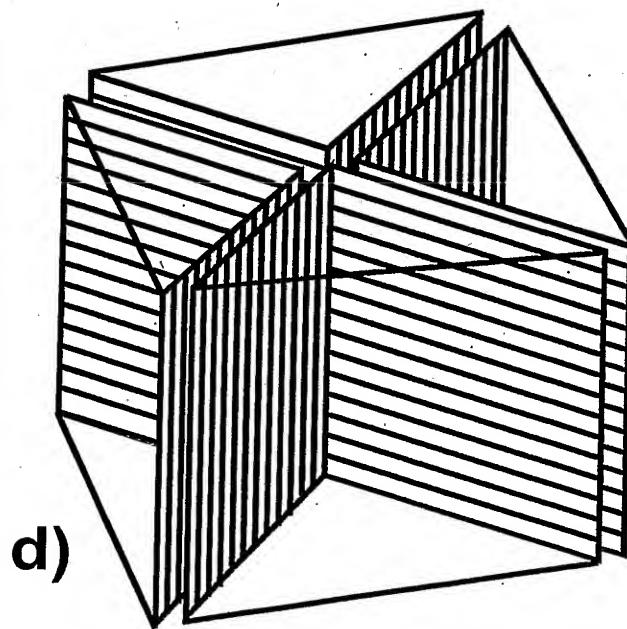
a)



b)

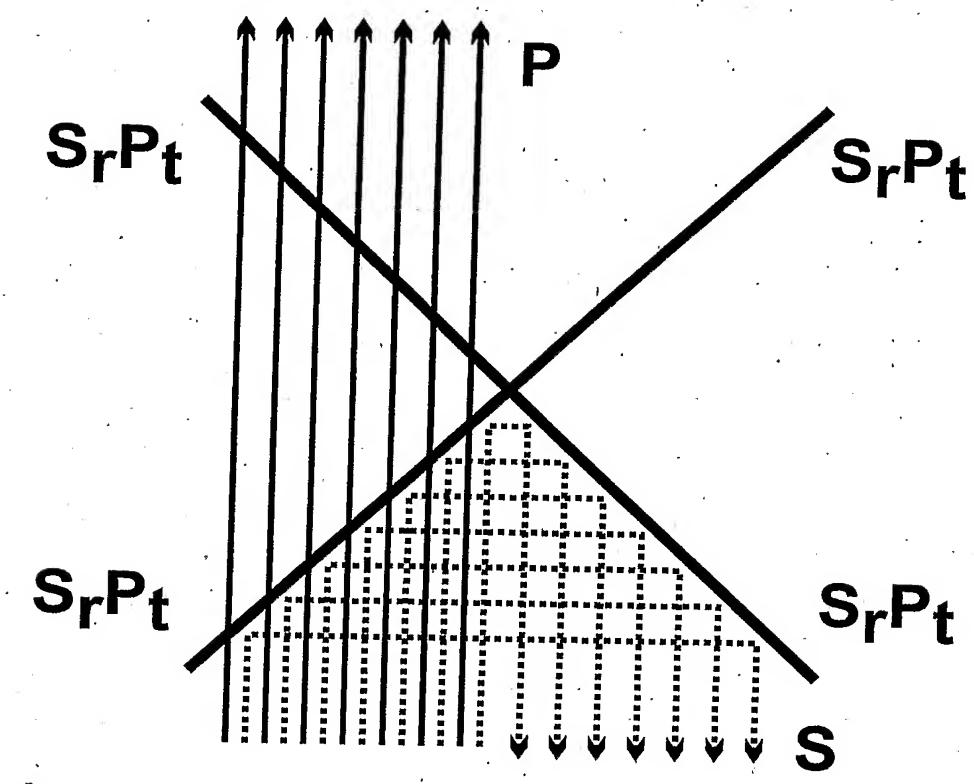


c)

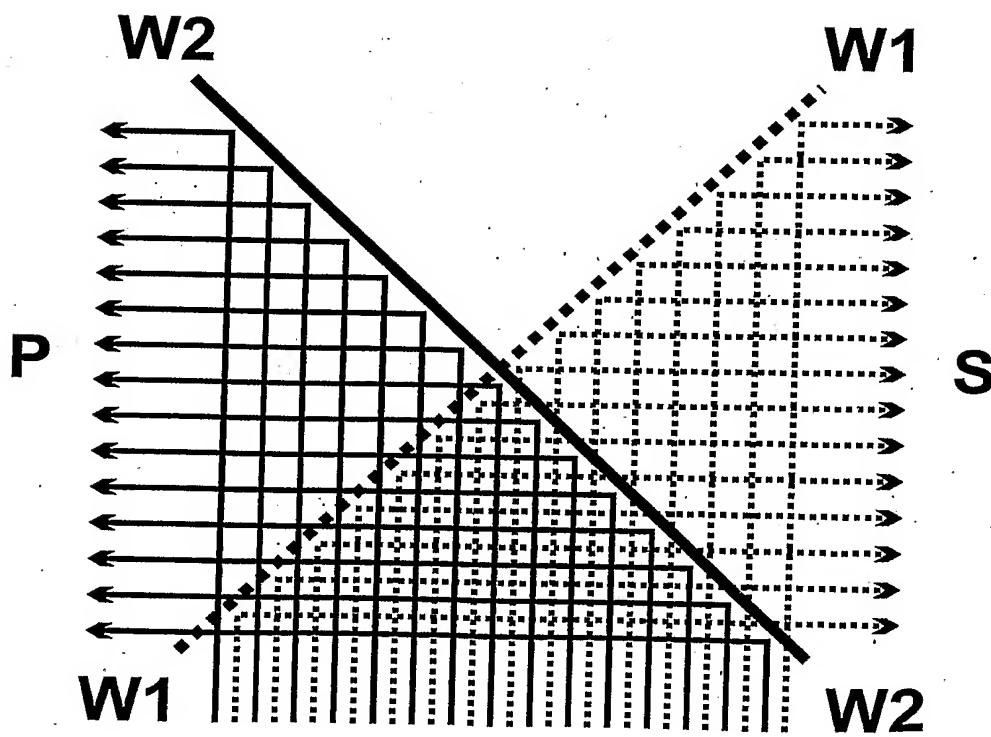


d)

Abb. 8



a)



b)

Abb. 9